

( 1 ) 実施機関名：

北海道大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震に関連する電磁気現象の観測研究

( 3 ) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

( 3 ) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

( 3-1 ) 地震発生先行過程

ア．観測データによる先行現象の評価

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

( 2 ) 地震・火山噴火に至る準備過程

( 2-1 ) 地震準備過程

ウ．ひずみ集中帯の成因と内陸地震発生の準備過程

( 3 ) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

( 3-1 ) 地震発生先行過程

イ．先行現象の発生機構の解明

( 5 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震発生時やそれに先行する電磁気現象が世界各地で観測されているが、そのメカニズムを説明する物理的なモデルは、いろいろ提案はされてはいるが、検証されたものはほとんどない。本研究では、北海道地域を中心に以下の観測研究を行い、それぞれの電磁気現象発生のメカニズムを説明するモデルの構築をめざした観測研究を行う。これまでの観測実績を考慮して、以下の 4 項目について観測研究を進める。

A. U L F 帯で電磁気現象

この現象は、地表で地磁気や地電位の変動を観測することにより行うが、その発生メカニズムとしては、震源域での流体の移動による比抵抗変化または流動電位や結晶破壊による異常電界の発生が考えられている。どちらにしても震源のある地下数 km - 数十 km で起こる異常が地表で観測可能な変化として検出されるかが最大の問題である。特殊な比抵抗構造に対しては、地表に大きな変動が引き出される可能性もあるので、震源域の比抵抗構造も観測して、その特徴を明らかにするとともに異常の伝播モデルの解明を目指す。

B. 電波伝播異常

VHF 帯の電波が見通し外に伝播する現象が地震に先行して起こることが内外で観測されている。北海道大学でも 2002 年から道内の地震頻発地域で観測開始している。これまでは、異常の検出の有無を統計的に見てきたが、次期計画では見通し外に伝播させる散乱体の検出、その直下の地表での地電位

変動観測、大気電場観測により、地表の変動が空間の電波伝播に与えている影響を重点的に観測することにより、伝播異常と地震との関連を説明するモデルの提案をめざす。

#### C. 電離圏との相互作用

地震時あるいはその先行現象として、電離圏にも異常が生じることが観測されている。電離圏の変動過程は非常に複雑で安易に地表の現象とのカップリングがあるかどうかを議論することは難しいが、GPS 衛星を使った TEC (総電子数) 観測等電離層の状況をモニタリングする観測も可能となったので、このような観測により大地震と電離層の変化との相互作用について調べる。

#### D. 応力変動による地磁気変化

いわゆる圧磁気効果により、地下の応力変化が地磁気の変化となって観測される可能性が指摘され、その観測可能性についてモデルシミュレーションも行われている。その結果によると、地下の磁化強度分布が観測変化量を左右していることが分かってきた。従って、構造を知った上で、震源付近での応力変化どのようなパターンで観測されるのかモデル計算を中心に研究を進める。

### (6) 本課題の5か年計画の概要:

平成 21 年度においては、

- A. 道東地域での地磁気、地電位の観測は引き続き行い、地震活動に伴う変動の観測を行う。また、道北、えりも、弟子屈地域等の比抵抗構造について検討を行い、地震発生地域の比抵抗構造について議論する。
- B. 日高、道東地域における VHF 帯電波伝播異常観測は継続し、散乱体の方位の探知をめざすとともに伝搬メカニズムのモデル計算を試みる。また、道北地域に観測点を設置する。
- C. 地震に伴う電離層総電子数 (TEC) の変化や大気圏での変化を GPS 衛星データを用いて調べる。
- D. 道東で行っている地磁気変動観測を継続すると共に、A. の地磁気観測で行っている 3 成分地磁気の変化についても検討を行う。また、地磁気の絶対値測定を行う。

平成 22 年度においては、

- A. 道東地域での地磁気、地電位の観測は引き続き行い、地震活動に伴う変動の観測を行う。また、地震発生地域の比抵抗構造について検討を行う。
- B. 日高、道東、道北地域における VHF 帯電波伝播異常観測は継続し、伝搬メカニズムの解明を試みる。
- C. 地震に伴う電離層総電子数 (TEC) の変化や大気圏での変化を GPS 衛星データを用いて調べる。
- D. 道東で行っている地磁気変動観測を継続すると共に、A. の地磁気観測で行っている 3 成分地磁気の変化についても検討を行う。地磁気の絶対値測定を行う。

平成 23 年度においては、

- A. 道東地域での地磁気、地電位の観測は引き続き行い、地震活動に伴う変動の観測を行う。また、地震発生地域の比抵抗構造について検討を行う。
- B. 日高、道東地域における VHF 帯電波伝播異常観測は継続し、散乱体の方位の探知をめざすとともに伝搬メカニズムの解明を試みる。
- C. 地震に伴う電離層総電子数 (TEC) の変化や大気圏での変化を GPS 衛星データを用いて調べる。
- D. 道東で行っている地磁気変動観測を継続すると共に、A. の地磁気観測で行っている 3 成分地磁気の変化についても検討を行う。また、地磁気の絶対値測定を行う。

平成 24 年度においては、

- A. 道東地域での地磁気、地電位の観測は引き続き行い、地震活動に伴う変動の観測を行う。また、地震発生地域の比抵抗構造について検討を行い、それらのデータを基に地震に伴う地磁気、地電位変化の可能性について議論する。
- B. 日高、道東地域における VHF 帯電波伝播異常観測は継続し、伝搬メカニズムの解明を試みる。
- C. 地震に伴う電離層総電子数 (TEC) の変化や大気圏での変化を GPS 衛星データを用いて調べる。
- D. 道東で行っている地磁気変動観測を継続すると共に、A. の地磁気観測で行っている 3 成分地磁気の変化についても検討を行う。また、地磁気の絶対値測定を行う。

平成 25 年度においては、

- A. 道東地域での地磁気、地電位の観測は引き続き行い、地震活動に伴う変動の観測を行う。また、地震発生地域の比抵抗構造について検討を行い、それらのデータを基に地震に伴う地磁気、地電位変化の可能性について議論する。
- B. 日高、道東地域における VHF 帯電波伝播異常観測は継続し、伝搬メカニズムの解明を試み、その地震予知への適用性について検討する。
- C. 地震に伴う電離層総電子数 (TEC) の変化や大気圏での変化を GPS 衛星データを用いて調べ、地震予知への適用性について検討する。
- D. 道東で行っている地磁気変動観測を継続すると共に、A. の地磁気観測で行っている 3 成分地磁気の変化についても検討を行う。データを基に応力蓄積過程の解明の可能性について議論する。

( 7 ) 平成 24 年度成果の概要 :

A. えりも地域の比抵抗構造

2003 年十勝沖地震の震源は海底下であったが、震源域は広くえりも地域にまで広がっている。そこで、震源域の比抵抗構造を調べるためにえりも地域の 45 地点で MT 探査を行った。また、えりも地域で起こる地震に伴う電磁気現象の大きさを定量的に考えるためには比抵抗構造を知っておくことは欠かせない。この探査では、通常の広帯域 MT 探査で観測する周波数領域 ( 320Hz-0.00055=周期 1800 秒 ) に加えて、深部までの比抵抗構造を求めるために長周期 MT 探査により周期 10 秒から 12000 秒の範囲の観測も行った。この観測は 2004 年 ~ 2005 年に行われたが、本課題では、得られたデータの解析を行い 3 次元比抵抗構造を得ることを目標としてきた。

本年度は、3 次元インバージョンを予察的にいろいろな条件で行い、それにより得られる 3 次元比抵抗構造について検討した。まず、電場、磁場の観測値から Phase Tensor および Induction Vector を求め、3 次元性の検討を行った。本地域は東および南西側が海に面しており、その影響が大きいことが予想された。実際インバージョンをやると、モデル計算の際に用いるグリッドの方向 ( これによりテンソルインピダンスの軸方向が異なる ) により、インバージョンにより得られる結果が異なることわかってきた ( 図 1 )。また、複雑な構造であるから計算を安定させるための平滑化の大きさも得られる構造に影響があることが分かってきた。今後、信頼できる 3 次元比抵抗構造を得るために上記の条件について更に検討を進める必要がある。

B. VHF 帯電波伝播異常観測

昨年度から開始した、周囲が開けている観測点では 4 方向ないし 6 方向にアンテナを設置して異常伝播の到来方向を調べる観測、また、えりも、弟子屈、根室地域ではそれぞれの地域で 10km ほどの間隔で複数の観測サイトを設置し、近傍の点での異常の相関性も調べ、異常現象の広がりも調べる観測を今年度も継続して実施した。各サイトでは 1 分毎に受信周波数を切り替えているいろいろな場所からの電波を受信することにした。

今年度中に、えりも地域では、2012 年 8 月 25 日  $M_{jma}6.1$  の地震が日高山脈直下で発生し、その前にえりも地域の複数の点で電波強度の異常変動が見られた。しかし、発生時期が夏であり、スプラディック E 層出現の影響による大きな電波強度変動も見られ、そのようなノイズが重畳するために異常の判別が難しい時間もあった。

また、今年度は道東地域の弟子屈美留和、根室市別当賀、落石の観測点においてもフィールドミルによる大気電場の観測を開始した。VHF 帯電波の見通し外伝播を生じさせる散乱体が上空にできる帯電性エアロゾルのような物質であれば、それが大気電場の変化で観測される可能性がある。実際これまでも数例ではあるが、電波伝播異常と大気電場変動に相関がみられた例がある。

このような電波伝播異常による電波強度の変化が地震に関係していることを検証するために、観測データの統計的処理を試みているが、いろいろなタイプの変動があり、また、種々のノイズが含まれているために異常を統計的に的確に抽出することについては、まだ検討すべき点が多く、今後更に研究を進める必要がある。

### C.GPSTEC (電離圏総電子数) の観測

本年度は、2011年東北太平洋沖地震に伴う地震時の電離圏異常(Coseismic ionospheric disturbances 略して CIDs)について GPSTEC と地震波データを用いて調べた。速度約 3km/s で伝播する高速 CID は西から南西方向だけに見られ、速度約 1.2km/s 伝播する低速 CID は、津波ソースから同心円状に広がっている(図 2)。伝播速度や振動数を考えると、高速 CID は Rayleigh 波によるものであり、低速 CID は音波や重力波に伴うものであると考えられる。Rayleigh 波に伴う CID の伝播の南北非対称性は、Rayleigh 波が音波の点震源としてふるまっているものではないことを示唆する。したがって、重なり合った音波の wave front は Rayleigh 波によって励起されたものであり、高速 CID の伝播の南北非対称性は地磁気の伏角の影響によると考えられる。

### D. 道東地域での地磁気観測

道東地域にある 8 地点の磁気点では、2009 年から地磁気三成分絶対観測を実施している。2011 年までに、既設の 8 箇所の磁気点すべてにおいて絶対観測を実施した。この結果を用いて、各磁気点の地磁気偏角・伏角の違いに起因する見かけの全磁力永年変化(オリエンテーション効果)を見積もり、観測された永年変化にどの程度見かけの変動が混入しているかを議論した。その結果、地点によっては、参照点である女満別の伏角・偏角との間に大きな隔たりがあり、オリエンテーション効果は無視すべきでないことが明らかになった。ただし、推定されたオリエンテーション効果は、実際に観測されてきた永年変化の傾向とは逆センスであり、この効果を補正すると、実際の永年変化場は、補正前に比べて若干大きいものと考えられた。

今年度は、厚岸北、初田牛、別海、仁伏で地磁気 3 成分絶対観測を行った。これらの点は 2010 年にも観測を行っており、その結果を合わせて表 1 に示した。この観測は、地磁気観測所の協力を得て、偏角、伏角の観測には地磁気観測所所有の FT 型磁気儀を使用し、全磁力の観測には絶対観測点、参照点とも北海道大学所有の OHM を使用した。絶対観測点と参照点との全磁力地点差は、FT 型磁気儀での観測前後に OHM を用いて観測した。

全磁力 F はこの 2 年間で 60~100nT 程度大きくなっており、その間水平成分はあまり変化しておらず、その増加は主に伏角が増加し z 成分が大きくなったためであることが分かった。このような観測を続けていくことにより、磁場の変化の様子が詳細に示され、プレート運動による地殻中での応力に変化に伴う応力磁気効果仮説の検証に貢献できると考えられる。

(8) 平成 24 年度の成果に関連の深いもので、平成 24 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
Kakinami, Y., M. Kamogawa, S. Watanabe, M. Odaka, T. Mogi, J. Y. Liu, Y. Y. Sun and T. Yamada,

2013, Ionospheric ripples excited by superimposed wave fronts associated with Rayleigh waves in the thermosphere, *J. Geophys. Res.*, DOI 10.1002/gra50099.

橋本武志・茂木透・西村三治・有田真・清水淳平・井智史・源泰拓・長町信吾, 2012, 道東地域における地磁気三成分絶対測量, 北海道大学地球物理学研究報告, 75, 117-132.

(9) 平成 25 年度実施計画の概要：

#### 25 年度計画

A. 道東地域での地磁気、地電位の観測は引き続き行い、地震活動に伴う変動の観測を行う。また、えりも地域の 3 次元比抵抗構造を作成し、えりも地域での発生する電磁気現象について、地震に伴う地磁気、地電位変化の可能性について議論する。

B. えりも、道東地域における VHF 帯電波伝播異常観測は継続し、伝搬メカニズムの解明を進める。このような電波伝播異常による電波強度の変化が地震に関係していることを検証するために、観測データの統計的処理を行い、いろいろなタイプの変動の特徴の抽出、また、種々のノイズの除去を試みる。地震と電波強度異常との関係を統計的に考察し、予知率や的中率等の算出を行い、その地震予知への適用性について検討する。

C. 地震に伴う電離層総電子数(TEC)の変化や大気圏での変化を GPS 衛星データを用いて調べ、地震

予知への適用性について検討する。

D. 道東で行っている地磁気変動観測を継続すると共に、地磁気観測で行っている3成分地磁気の変化についても検討を行う。データを基に応力蓄積過程の解明の可能性について議論する。

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

北海道大学理学研究院 6名

総括 茂木透

ULF 電磁場観測；茂木透、高田真秀

VHF 電波伝播観測：森谷武男、茂木透、渡部重十、高田真秀

電離層変化観測：日置幸介、渡部重十

地磁気変動観測：橋本武志、茂木透、高田真秀

他機関との共同研究の有無：有

東京大学地震研究所：上嶋誠、京都大学防災研究所：大志万直人、九州大学理学研究院：湯元清文、東海大学海洋学部：長尾年恭、千葉大学理学研究科：服部克己

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

電話：011-706-4679

e-mail：mogitv@mail.sci.hokudai.ac.jp

URL：http://www.sci.hokudai.ac.jp/grp/isv/isv-web/

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：茂木透

所属：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

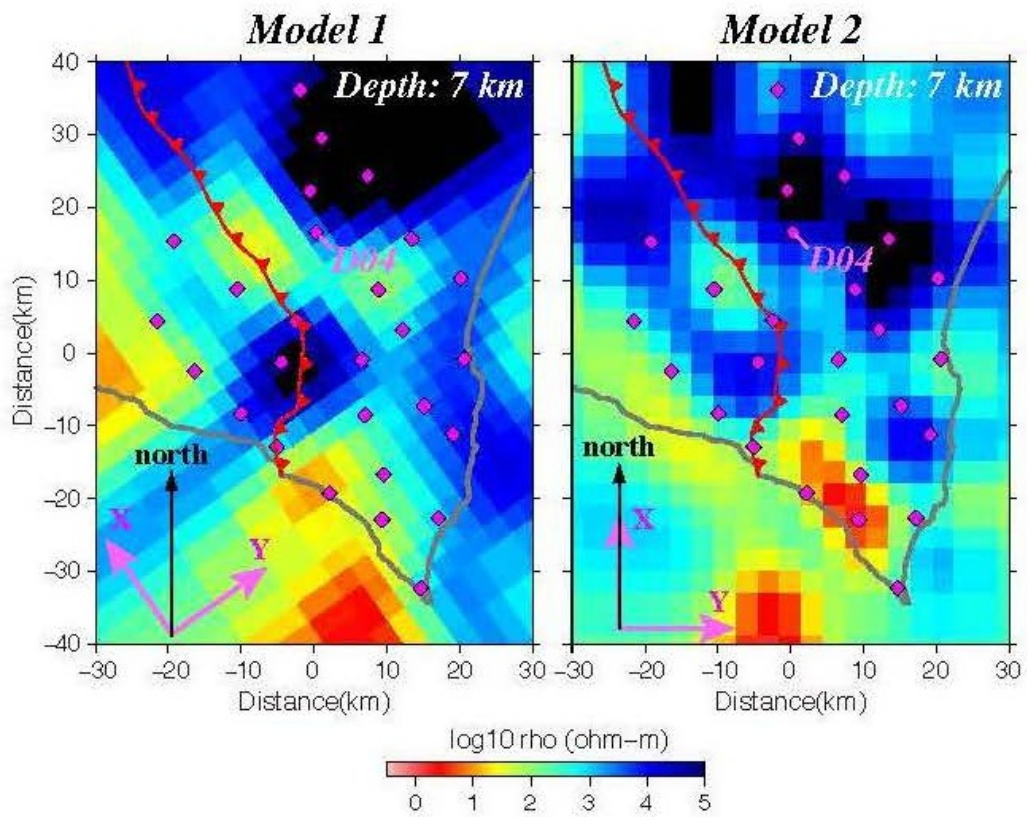


図1 . 深さ 7km における比抵抗分布 .

Model1 はテンソルインピーダンスの X 軸を北から時計回りに 325 度, Model 2 は北 ( 0 度 ) に設定した . 大局的には比抵抗分布の違いは見られないが , 低比抵抗域の範囲などに違いが見られる .

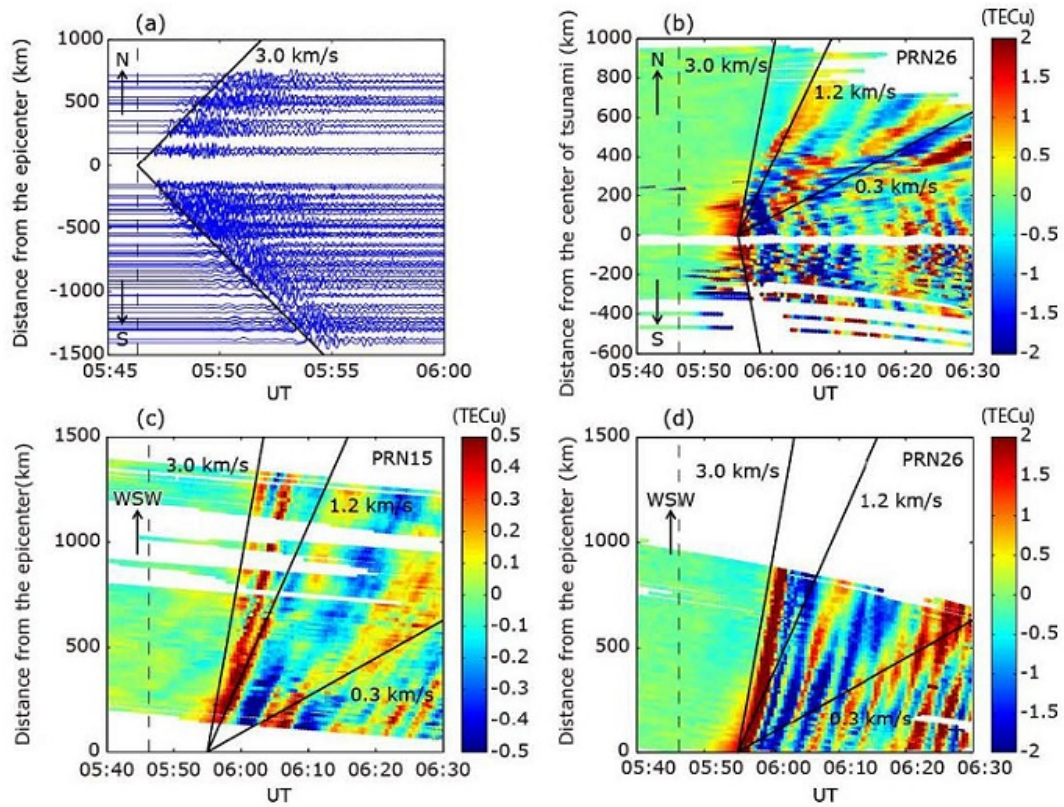


図 2 . 地震波及び GPSTEC の走時ダイアグラム .

(a) 地震波及び (b)10 分のハイパスフィルターをかけた津波ソース (北緯 48 度, 東経 138 度) と同じ緯度での GPSTEC の走時ダイアグラム . (c),(d) は , 震央から西南西方向 (北緯 35 度, 東経 136 度) での GPSTEC 走時でそれぞれ PRN15 及び PRN26 衛星による観測 . 黒の斜め線は速度を示し , 垂直な破線は地震の発生時間を示す .

|                               | D                    | I          | F         | H         | Z         |
|-------------------------------|----------------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| 厚岸北 (2012年10月24日 11:24-12:30) | mark1:<br>-8° 52.18' | 58° 03.23' | 49168.9nT | 26016.3nT | 41722.1nT |
| 参考: 2010年                     | -8° 48.10'           | 57° 57.78' | 49098.7nT | 26045.2nT | 41621.3nT |
| 初田牛 (2012年10月25日 8:09-8:54)   | -8° 22.56'           | 58° 21.53' | 49820.2nT | 26135.5nT | 42414.5nT |
| 初田牛 (2012年10月25日 9:15-10:22)  | -8° 22.89'           | 58° 21.95' | 49812.6nT | 26126.4nT | 42411.1nT |
| 参考: 2010年                     | -8° 23.68'           | 58° 16.43' | 49753.0nT | 26163.1nT | 42318.4nT |
| 別海 (2012年10月25日 13:50-14:37)  | -8° 51.93'           | 57° 43.43' | 48661.6nT | 25985.4nT | 41142.6nT |
| 参考: 2010年                     | -8° 46.61'           | 57° 39.75' | 48559.7nT | 25975.8nT | 41030.1nT |
| 仁伏 (2012年10月26日 9:49-10:30)   | -8° 40.93'           | 57° 29.34' | 49748.1nT | 26737.6nT | 41952.0nT |
| 仁伏 (2012年10月26日 11:21-11:45)  | -8° 43.93'           | 57° 29.21' | 49751.6nT | 26741.2nT | 41954.0nT |
| 参考: 2010年                     | -8° 41.27'           | 57° 23.31' | 49689.6nT | 26779.7nT | 41855.7nT |

表1 . 地磁気三成分絶対観測結果 .